



**University of  
Zurich**<sup>UZH</sup>

**Zurich Open Repository and  
Archive**

University of Zurich  
University Library  
Strickhofstrasse 39  
CH-8057 Zurich  
[www.zora.uzh.ch](http://www.zora.uzh.ch)

---

Year: 2010

---

## **Roboter-assistierte Gangtherapie in virtueller Umgebung: neue Perspektiven in der Neurorehabilitation von Kindern**

Brütsch, K ; Borggraefe, I ; Meyer-Heim, A

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich  
ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-40112>  
Journal Article

Originally published at:

Brütsch, K; Borggraefe, I; Meyer-Heim, A (2010). Roboter-assistierte Gangtherapie in virtueller Umgebung: neue Perspektiven in der Neurorehabilitation von Kindern. *Praxis der Kinder-Reha*, (1):26-30.

***Manuskript für Fachzeitschrift „Praxis der Kinder-Reha“***

## **Roboter-assistierte Gangtherapie in virtueller Umgebung: neue Perspektiven in der Neurorehabilitation von Kindern**

Karin Brütsch<sup>1,3</sup>, Ingo Borggraefe<sup>2</sup>, Andreas Meyer-Heim<sup>3</sup>

1. Universität Zürich, Psychologisches Institut, Lehrstuhl für Neuropsychologie

2. Abteilung für Pädiatrische Neurologie, Entwicklungsneurologie und  
Sozialpädiatrie, Dr. von Haunersches Kinderspital, Universität München

3. Rehabilitationszentrum für Kinder und Jugendliche Affoltern am Albis, Universitäts  
Kinderspital Zürich

Zeichen/Wordcount: 13704, 1762

### **Korrespondenz:**

Karin Brütsch lic. phil.

Universität Zürich

Psychologisches Institut, Lehrstuhl für Neuropsychologie

Binzmühlestr. 14 / 25

8050 Zürich

k.bruetsch@psychologie.uzh.ch

## **Das roboter-assistierte Gangtraining bei Kindern: ein Überblick**

Eine häufige Folge von erworbenen oder angeborenen Schädigungen und Erkrankungen des zentralen Nervensystems im Kindesalter wie Cerebralparesen, Schädelhirnverletzungen, kindlichen Schlaganfällen, Verletzungen oder nichttraumatische Läsionen des Rückenmarks ist die Beeinträchtigung der Gehfähigkeit.

In den letzten Jahren konnte gezeigt werden, dass durch intensives, aufgabenspezifisches Lernen neuroplastische Vorgänge unterstützt werden können und dadurch verlorene oder noch nicht entwickelten Fähigkeiten und Funktionen wieder erlangt werden können (DOBKIN 2005, JOHANNSON 2000). Faktoren wie Trainingsintensität, Häufigkeit, Aufgaben-spezifität, Repetitionen mit Variationen und Motivation spielen für das senso-motorische Lernen eine wichtige Rolle (WINSTEIN 1991, MACLEAN 2007).

Ein kürzlich publizierte Cochrane Analyse zeigte nur geringe Evidenz bezüglich Verbesserung von Gangfunktionsparametern nach konventionelle Gangtraining (CoGT) bei erwachsen Patienten in der chronischen Phase nach Schlaganfall (STATES 2009). Eine von Kwakkel et al. durchgeführte Metaanalyse konnte eine Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen Intensität des Trainings und dem Outcome bei den Aktivitäten des täglichen Lebens aufzeigen (KWAKKEL 2004).

Das gewichts-entlastende Laufbandtraining (BWSTT) wurde zur Intensivierung und qualitativen Verbesserung des aufgaben-spezifischen Trainings in die Gangrehabilitation bei Erwachsenen und Kindern eingeführt und eine positive Wirkung konnte bestätigt werden (SCHINDL 2000, HESSE 2008). Bei schwer betroffenen Patienten ist eine manuelle Unterstützung beim BWSTT notwendig, was die Durchführung personell aufwändig macht und die Anwendung im klinischen Alltag deshalb einschränkt. Zudem besteht eine weitere Limitation dieser Therapieform darin, dass eine normale Ganggeschwindigkeiten kaum zu erreichen ist.

Aus diesen Gründen wurde Ende der 1990er Jahren die Automatisierung des BWSTT angestrebt (HESSE 2008). Das roboter-assistierte Gangtraining (RAGT) wurde zuerst bei erwachsenen Patienten mit Paraplegien und Schlaganfällen eingesetzt (COLOMBO 2000). Kürzlich durchgeführte randomisierte und kontrollierte Studien konnten die positive Wirkung von RAGT zeigen, wobei die bisherigen Studien bei Erwachsenen nicht eindeutig eine Überlegenheit gegenüber einem CoGT zeigten (HIDLER 2009, HUSEMANN 2007, MAYR 2007).

Mit Einführung des Kinder-Lokomat® 2006 besteht die Möglichkeit, ein intensivierte Lokomotionstraining für Kinder ab dem 4. Lebensjahr automatisiert durchzuführen (MEYER-HEIM 2007, BORGGRAEFE 2008).



Abb. 1: 7 jähriger Knabe während der roboter-assistierte Gangtherapie auf dem Kinder Lokomat®. Im Rehabilitationsalltag absolvieren die Kinder bis zu 20 Therapieeinheiten von bis zu 45 Minuten pro Einheit.

Die Anwendbarkeit, Sicherheit und erste Untersuchungen, welche eine positive und über einen Beobachtungszeitraum von 6 Monaten nachhaltige Wirkung des RAGT im Kindesalter aufzeigen wurden kürzlich publiziert bzw. sind „in press“ (MEYER-HEIM 2009, BORGGRAEFE in press, BORGGRAEFE in press).

Trotz der viel versprechenden Fortschritte durch den Einsatz dieser technologischen Innovationen in der Gangrehabilitation bestehen auch bei dieser Therapiemodalität Limitationen, die es in Zukunft anzugehen gilt. Bei der RAGT besteht insbesondere bei Kindern die Gefahr, dass das intensive und repetitive Üben zu einem Rückgang der Motivation, Langeweile und Eintönigkeit führt und daraus resultierend, mit einer verminderten Therapieeffizienz einhergeht. Zudem besteht beim dem - an sich erwünschten - therapeutischen „hands-off“ Approach auf dem Lokomat® die Gefahr, dass die Kinder „sich gehen lassen“ können, da sich die Intensität der Muskelaktivität der unmittelbaren Kontrolle des Therapeuten entzieht.

### **Neurorehabilitation in virtueller Umgebung: eine innovative Perspektive**

Es gibt zunehmend Hinweise, dass Ueben in einer auf virtueller Realitäten (VR)-basierenden Umgebung das senso-motorische Lernen unterstützen kann. Folgende Faktoren tragen dazu bei: VR-Systeme können durch den Spielcharakter zu einer Steigerung der Attraktivität des Trainings (Repetition mit Variation, „enriched environment“) beitragen und damit eine höhere Motivation des Patienten erzeugen (HOLDEN 2005). Es kann zudem ein unmittelbares „knowledge of result“ und „knowledge of performance“ dargeboten werden (ANDERSON 2001).

Besonders die Patientengruppe der Kinder und Jugendlichen kann durch den Einsatz solcher Computerspiele, die mit der eigenen Laufbewegung vorangetrieben und gesteuert werden, erheblich in ihrem täglichen Rehabilitationsprogramm motiviert und die Partizipation gesteigert werden. Zusätzlich knüpft die Idee der VR auch an das Prinzip der Spiegelneuronen („mirror neurons“). Dieses postuliert, dass das beobachten von Handlungen mit selber generierten oder geplanten Aktionen korreliert und dadurch dieselben motorischen Hirnareale beim Ausführen wie auch

beim reinen Beobachten aktiviert werden. Durch diese Aktivierung des Spiegelneuronensystems können neuroplastische Vorgänge unterstützt werden. (BUCCINO 2004, RIZOLATTI 2009).

### **Verbesserung des RAGT durch VR- basierte Biofeedbacksysteme**

Die Einführung des RAGT eröffnet die Möglichkeit der Integration dieser oben beschriebenen neuen Systeme zur Förderung der Patientenkooperation in die Gangrehabilitation (LÜNENBURGER 2007). Mit dem Ziel, Patienten ein interaktives und spannendes Gangtraining zu ermöglichen, wurden in den letzten zwei Jahren auf VR basierende Spiele spezifisch für das RAGT bei Kindern entwickelt und begleitet von einer wissenschaftlichen Auswertung in den Rehabilitationsalltag integriert (KOENIG 2008).



Abb. 2.: Kombination von RAGT mit VR-basiertem Feedbacksystem. Das multimodale Set-up umfasst das Laufband, den Lokomat®, ein 42 Zoll-Flachbildschirm mit Computer zum Abspielen der Spezialsoftware sowie ein 7.1 Dolby Surround Sound System.

Die Synchronisation des Roboters mit Computerspielen baut auf Spielkonzepten auf, die den Prozess des Laufens mit der Interaktion in Spielen kombiniert. Der Roboter unterstützt dabei die Gehbewegung und misst, anhand von Sensoren des Exoskeletons an Hüft- und Knie-Gelenken, die vom Patienten aufbrachten Kräfte (Biofeedback). Der Rückfluss dieser Daten wird in der Spielsteuerung eingebracht und kann visuell, auditiv und haptisch verstärkt werden.

Die ersten beiden Spielszenarien (A: ein Fussballspiel und B: ein Navigationsspiel mit Gegenständen und Tieren zum einsammeln) wurden in Zusammenarbeit mit der Universität/ETH Zürich und der Firma Hocoma, Volketswil (Schweiz) entwickelt.



Abb. 3.: Links: Pediatric Lokomat Virtual Reality (PeLoViR) ist ein Fussballspiel entwickelt von der ETH Zürich. Ein virtueller Gegner (rot) wird den Ball übernehmen falls der Avatar des Patienten (weiss) mit zu wenig Kraft geht. Ein Schuss Richtung Tor muss über den braunen Kreis mit dem zweiten Gegner (rot) gestossen werden. Diese Software ist nicht kommerziell erhältlich.

Rechts: Augmented Feedback wurde von der Firma Hocoma entwickelt und ist kommerziell erhältlich. Der Spieler kann durch vermehrten Kraftaufwand des linken oder rechten Beines den Avatar durch eine Landschaft steuern und Gegenstände einsammeln.

Bei der Entwicklung der Spielszenarien wurde darauf geachtet, dass therapeutische Trainingsziele in der virtuellen Umgebung umgesetzt und trainiert werden können. Definierte Trainingsziele waren dabei die Erhöhung der maximalen Muskelkraft von Hüft und Knie Flexoren/Extensoren, Erweiterung des Bewegungsspektrums, Geschwindigkeitsanpassung, Übersetzung und Koordination von visuellem Input in motorischen Output und Starten/Stoppen des Gehens. Allgemein ist es das Ziel mit

Hilfe der virtuellen Welten die Kinder während dem RAGT zu motivieren und sie zu mehr Eigenaktivität und Partizipation anzuregen.

Beim Fußballspiel kann der Patient aktiv mit der virtuellen Welt interagieren und anhand der Flugweite des Balles feststellen, wie fest der Ball gekickt wurde und wie viele Tore geschossen wurden. Dabei wird der „Spieler“ permanent von einem oder zwei Gegnern herausgefordert, der je nach Aktivität des Kindes schneller oder langsamer wird und dem Kind den Ball auch „wegschnappen“ kann. Vernachlässigt der Patient also seine Aktivität und wird passiv, wird der Gegner auf- und überholen und den Ball übernehmen. Der Therapeut kann dabei Einfluss auf die Steuerung des Gegners nehmen und so je nach Fähigkeiten des Patienten den Schwierigkeitsgrad des Spiels anpassen. Somit können bereits sehr schwache Patienten mit wenig Kraft dieses VR-Spiel spielen und erhalten gleichermassen Anreize. Durch die Freischaltung des Beines, welches einen Kick des Balls zulässt, kann ein weiteres Prinzip der Neurorehabilitation: *Repetition mit Variation* erfüllt werden.

Das Navigationsspiel arbeitet vor allem mit motivationalen Anreizen. Die Kinder können zwischen verschiedenen Umgebungen und Figuren wählen und sollen in der gewählten Welt möglichst viele Tiere oder Gegenstände einsammeln. Die virtuelle Figur (Avatar) kann dabei vom Patienten mittels Biofeedback-System nach links oder rechts gesteuert werden. Diese Steuerung nach links oder rechts ist am Anfang relativ schwierig und braucht einige Übung. Durch die Auswahl von verschiedenen virtuellen Welten kann verschiedenen Ansprüchen und Wünschen entsprochen werden.

Erste klinische Versuche haben gezeigt, dass die Kinder Freude und Spass haben mit den virtuellen Welten zu trainieren und ihr Ehrgeiz bei dem virtuellen Fußballspiel so stark geweckt werden kann, dass sie zu schwitzen beginnen. In ersten Studien konnte nachgewiesen werden, dass ihre Aktivität während dem RAGT erhöht ist im Vergleich zu anderen Trainingseinheiten ohne VR, wie z.B. DVD



schauen, Musik hören oder reine therapeutische Unterstützung (König 2008, Brütsch in press). Das Ziel dieser Kombination von virtuellen Welten und roboterunterstützten Gangtrainings ist es jedoch nicht den Therapeuten zu ersetzen. Es hat sich vielmehr gezeigt, dass wenn die Kinder beim virtuellen Training zusätzlich von den Therapeuten angespornt werden, sich die höchsten Biofeedback-Aktivierungen messen lassen (BRÜTSCH in press). Ein nahezu identisches Bild wie in der vorhergehenden Studie dargestellt, konnte nachgewiesen werden, wenn die Muskelaktivität der Kinder während dem RAGT mit und ohne VR mittels Oberflächen-Elektromyografie (sEMG) aufgezeichnet und verglichen wurde (SCHULER 2009).

In einer Kooperation mit der Zürcher Hochschule für Künste (ZHdK), Abteilung Game Design, wurde vor allem am Ziel festgehalten, den Kindern weitere und faszinierendere VR-basierende Spiele zu präsentieren. Denn obwohl die ersten klinischen Resultate sehr viel versprechend waren, musste doch festgestellt werden, dass nach mehreren Therapiesitzungen die bisherigen Spiele an Reiz einbüßen und langweilig werden können. Die Möglichkeiten der Interaktion, sowie motivationale und spielpsychologische Aspekte sind in den ersten beiden Spielen noch deutlich limitiert, bzw. vermögen die Kinder nur begrenzt für längere Zeit zu begeistern. Die Disziplin des Serious Game Designs eröffnet hier neue Möglichkeiten, um therapeutische Aspekte mit förderndem Spielinhalt und attraktiver Grafik zu kombinieren und dadurch eine vertiefte „Immersion“ des Patienten zu erreichen (GÖTZ 2007).



Abb. 3. Game based Rehabilitation for Lokomat (GABARELLO). Diese zur Zeit noch nicht kommerziell erhältliche Spielsoftware wurde von der Zürcher Hochschule für Künste (ZHdK) Abteilung Game Design (Prof. U. Götz) in Zusammenarbeit mit der Universität und ETH Zürich (Prof. R. Riener, Prof. L. Jaencke) und dem Rehabilitationszentrum Affoltern des Kinderspitals Zürich entwickelt.

Beim Therapiespiel GABARELLO („Game based Rehabilitation for Lokomat“) werden die Kinder mittels Raumschiff in eine andere Welt "entführt". Dabei erforscht der Patient in Form eines Astronauten-Avatars verschiedene Wege, bringt Blumen zum blühen und Pilze zum leuchten und kann so, in Abhängigkeit seiner Leistung, Punkte

erzielen. Als unmittelbares „Feedback of performance“ wachsen die Beine des Avatars virtuell an und mit zunehmender Biofeedback-Aktivierung der Kinder schiesst ein farbiger Strahl aus dem Weltraumrucksack.

## **Zusammenfassung und Ausblick**

Der Einsatz von VR-Systemen beim roboterunterstützten Gangtraining scheint eine viel versprechende Erweiterung der therapeutischen Möglichkeiten in Bezug auf die Motivation und Partizipation von Patienten darzustellen. Auf diese Weise können Kinder auf spielerische Art zur Durchführung und Leistungssteigerung animiert werden, was sich in einem verbesserten funktionellen Ergebnis widerspiegeln soll. Um diese Hypothesen auch klinisch nachweisen zu können, braucht es aber noch zusätzliche Studien. Die Entwicklung im Bereich Serious Game Design muss dahin zielen, spannende und immersive Spiele zu entwickeln, die sich den verschiedenen Entwicklungsalter, den kognitiven Levels und den Fortschritten im Rehabilitationsverlauf der Kinder anpassen können. Die Spiele können in Zukunft auch mit kognitiven Therapieeinheiten ergänzt werden und Elemente enthalten, die auch die Rehabilitation der räumlichen Wahrnehmung vermehrt unterstützen können.

## **Danksagung**

Folgende Stiftungen und Institutionen haben verdankenswerter Weise die in dieser Arbeit erwähnten Projekte unterstützt: Schweizerische Stiftung für das cerebral gelähmte Kind, Stiftung Kinderhilfe Sternschnuppe, Olga-Mayenfisch Stiftung, Forschungskredit Universität Zürich 2009.

**Abkürzungen**

BWSTT: body weight supported treadmill training = gewichts-entlastendes Laufbandtraining.

CoGT: conventional on-ground training = konventionelle Gangtraining am Boden

RAGT: roboter-assistiertes Gangtraining

VR: virtuelle Realität

## Literatur

- Anderson DL., Magill RA., Sekiya H.** (2001): Motor learning as a function of KR schedule and characteristics of task-intrinsic feedback. *J Mot Behav.* 33:59-66.
- Borggraefe I., Meyer-Heim A., Kumar A., Schaefer JS., Berweck S., Heinen F.** (2007): Significant improvement of gait parameters after robotic assisted locomotor treadmill therapy in a 6 year old child with cerebral palsy. *Mov Disord* 23:280-3.
- Borggraefe I., Klaiber M., Schuler T., Warken B., Schroeder SA., Heinen F., Meyer-Heim A.** (In press): Safety of robotic-assisted treadmill therapy in children and adolescents with gait impairment: a bi-center survey. *Dev Neurorehabil.*
- Borggraefe I., Kiwull L., Schaefer JS., Koerte I., Blaschek A., Meyer-Heim A., Heinen F.** (In press): Sustainability of motor performance after robotic-assisted treadmill therapy in pediatric patients with central gait disorders. *Euro J Phys Rehab Med.*
- Brütsch K., Schuler T., König A., Zimmerli L., Mérillat (-Koenek) S., Lünenburger L., Riener R., Jäncke L., Meyer-Heim A.** (in press): Virtual Reality Soccer Enhances Walking Performance in Robotic Assisted Gait Training of Children *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation.*
- Buccino G., Binkofski F., Riggio L.** (2004): The Mirror Neuron System and Action Recognition. *Brain and Language* 89 (2), 370-76.
- Colombo G., Joerg M., Schreier R., Dietz V.** (2000): Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis. *J Rehabil Res Dev.* 37 (6), 693-700.
- Dobkin B.H.** (2005): Clinical practice. Rehabilitation after stroke. *N Eng. J Med.* 352, 1677-84.
- Götz U.** (2007): Visuelle Präsentation von Lerninhalten in Serious Games. In: *Serious Game Design für die Psychotherapie.* Brezinka V, Götz U, Suter B (Hrsg). Edition Cyperfiction Zürich, 35-44.
- Hesse S.** (2008): Treadmill training with partial body weight support after stroke: A review. *NeuroRehabilitation* 22, 1-11.
- Hidler J., Nichols D., Pelliccio M., Brady K., Campbell DD., Kahn JH., Hornby TG.** (2009): Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair* 23, 5-13.
- Holden MK.** (2005): Virtual environments for motor rehabilitation: review. *Cyberpsychol Behav.* 8,187-211.
- Husemann B., Muller F., Krewer C., Heller S., Koenig E.** (2007): Effects of locomotion training with assistance of a robot-driven gait orthosis in hemiparetic patients after stroke: a randomized controlled pilot study. *Stroke.* 38, 349-54.
- Johansson BB.** (2000): Brain plasticity and stroke rehabilitation. *The Willis Lecture.* *Stroke.* 31, 223-30.

**König A., Brüttsch K., Zimmerli L., Guidali M., Duschau-Wicke A., Wellner M., Meyer-Heim A., Lünenburger L., Köneke S., Jäncke L., Riener R.** (2008): Virtual environments increase participation of children with cerebral palsy in robot-aided treadmill training. Proceedings of "Virtual Rehabilitation 2008".

**König A., Wellner M., Köneke S., Meyer-Heim A., Lünenburger A., Riener R.** (2008): Virtual Gait Training for Children with Cerebral Palsy using the Lokomat Gait Orthosis. *Stud Health Technol Inform.* 132, 204-9.

**Kwakkel G., Van Peppen R., Wagenaar RC., Wood Dauphinee S., Richards C., Ashburn A., Miller K., Lincoln N., Partridge C., Wellwood I., Langhorne P.** (2004): Effects of augmented exercise therapy after stroke: a meta-analysis. *Stroke* 35, 2529-39.

**Lünenburger L., Colombo G., Riener R.** (2007): Biofeedback for robotic gait rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil.* 4 (1).

**Maclean N., Pound P.** (2000): A critical review of the concept of patient motivation in the literature on physical rehabilitation. *Soc Sci Med.* 50(4), 495-506.

**Mayr A., Kofler M., Quirbach E., Matzak H., Frohlich K., Saltuari L.** (2007): Prospective, blinded, randomized crossover study of gait rehabilitation in stroke patients using the Lokomat gait orthosis. *Neurorehabilitation and Neural Repair* 21, 307-14.

**Meyer-Heim A., Borggraefe I., Reiffer C., Berweck St., Sennhauser FH., Colombo G., Knecht B., Heinen F.** (2007): Feasibility of Robotic assisted locomotor training in children with central gait impairment. *Dev Med Child Neurol.* 49, 900-6.

**Meyer-Heim A., Ammann-Reiffer C., Schmartz A., Schäfer J., Sennhauser FH., Heinen F., Knecht B., Dabrowski E., Borggraefe I.** (2009): Improvement of walking abilities after robotic-assisted locomotion training in children with cerebral palsy. *Arch Dis Child.* 94, 615-20.

**Rizzolatti G., Fabbri-Destro M., Cattaneo L.** (2009): Mirror neurons and their clinical relevance. *Nat Clin Pract Neurol.* 5, 24-34.

**Schindl MR., Forstner C., Kern H., Hesse S.** (2000): Treadmill training with partial body weight support in nonambulatory patients with cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil.* 81, 301-06

**Schuler T.** (2009): Virtual Reality as a Motivation Tool for Training in the Pediatric Robotic Assisted Gait Orthosis Lokomat: A Surface Electromyography (EMG) Study. *Master-Thesis ETH Zurich.*

**States RA., Pappas E., Salem Y.** (2009): Overground physical therapy gait training for chronic stroke patients with mobility deficits. *Cochrane Database Syst Rev.* 8 (3).

**Winstein CJ.** (1991): Knowledge of results and motor learning - Implications for physical therapy. *Physical Therapy* 71 (2), 140-9.